

УДК 621.311.4

Исследования параметров тока однофазного замыкания на землю в сети 6 кВ Оренбургского ГПЗ

А.В. Иванов (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»), Л.И. Сарин, А.И. Ширковец (ООО «ПНП Болид»)

Однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) в сетях 6–35 кВ промышленных предприятий газовой отрасли, эксплуатируемых с изолированной или компенсированной нейтралью, являются главной причиной выхода из строя изоляции высоковольтных электродвигателей и кабелей. Впервые в России на Оренбургском газоперерабатывающем заводе (ОГПЗ) были проведены эксперименты по искусственному моделированию аварийного режима ОЗЗ в сети 6 кВ для определения фактических параметров аварийного режима и, в перспективе, разработки мероприятий по снижению аварийности сети по причине ОЗЗ.

ОГПЗ представляет собой сложный объект, отдельные установки и производства которого объединены технологическим процессом. Электрические сети ОГПЗ включают в себя все классы среднего напряжения, но наиболее разветвлена сеть 6 кВ, для которой наиболее распространена электродвигательная нагрузка. Питание очередей ОГПЗ в нормальном эксплуатационном режиме осуществляется отдельно от двух трансформаторов мощностью 63 МВ·А (главная понизительная подстанция № 1 – ГПП-1), двух трансформаторов мощностью 80 МВ·А (главная понизительная подстанция № 2 – ГПП-2) и, дополнительно, от шин главного распределительного устройства 6 кВ Каргалинской ТЭЦ.

В существующем режиме эксплуатации (с изолированной или компенсированной нейтралью) ежегодно происходят несколько десятков ОЗЗ, в результате которых выходят из строя электродвигатели и высоковольтные кабели (рис. 1). Острой проблемой при эксплуатации сетей 6 кВ, эксплуатируемых с дугогасящими катушками (ДГК) (ГПП-1), является также поиск места замыкания на землю.

Впервые в России на объекте газовой отрасли такого масштаба были проведены экспериментальные исследования параметров тока ОЗЗ в сети 6 кВ для разработки на следующем этапе исследований мероприятий по уменьшению аварийности в сети 6 кВ. Схема проведения эксперимента приведена на рис. 2.

Замеры емкостных токов однофазного замыкания в сети 6 кВ выполнялись методом искусственного замыкания фазы сети на землю. Данный метод является прямым и позволяет наиболее точно измерить силу емкостного тока ОЗЗ для текущей конфигурации сети. Во



Рис. 1. Статор сгоревшего двигателя 630 кВ, вышедшего из строя в результате однофазного дугового замыкания на землю

время проведения опыта ОЗЗ выполнялось осциллографирование как тока ОЗЗ, так и фазных напряжений. По результатам обработки осциллограмм были определены сила тока ОЗЗ в сети 6 кВ секций ГПП-1 и ГПП-2 и уровень перенапряжений при металлическом замыкании, а также гармонический состав установившегося тока ОЗЗ и количественные величины составляющих высших частот.

В специально подготовленной для организации искусственного «металлического» ОЗЗ ячейке (рис. 3) (на каждой из секций обследуемой сети 6 кВ ГПП-1 и ГПП-2) одна из фаз соединялась с «землей» закороткой, рассчитанной на ток трехфазного КЗ. На период проведения опытов ОЗЗ с целью быстрого отключения места замыкания при возникновении замыкания во втором месте, уставки по времени защит фидеров, используемых для создания ОЗЗ и подключения делителей напряжения, были выставлены минимальными.

В ячейке, предназначенной для создания искусственного ОЗЗ, для измерения силы тока ОЗЗ был установлен трансформатор тока типа IR 31 F 75/5 А производства Alstom Savoisiennne. К выводам вторичной обмотки трансформатора тока (зашунтированной сопротивлением 0,5 Ом) через измерительный кабель подключали цифровой запоминающий осциллограф для регистрации силы тока ОЗЗ. Фазные напряжения регистрировали с помощью высоковольтных делителей напряжения (ДН), которые подключались к шинам секции через отдельный выключатель. Исполнение ячеек ЗРУ 6 кВ и на ГПП-1, и на ГПП-2 позволило осуществить

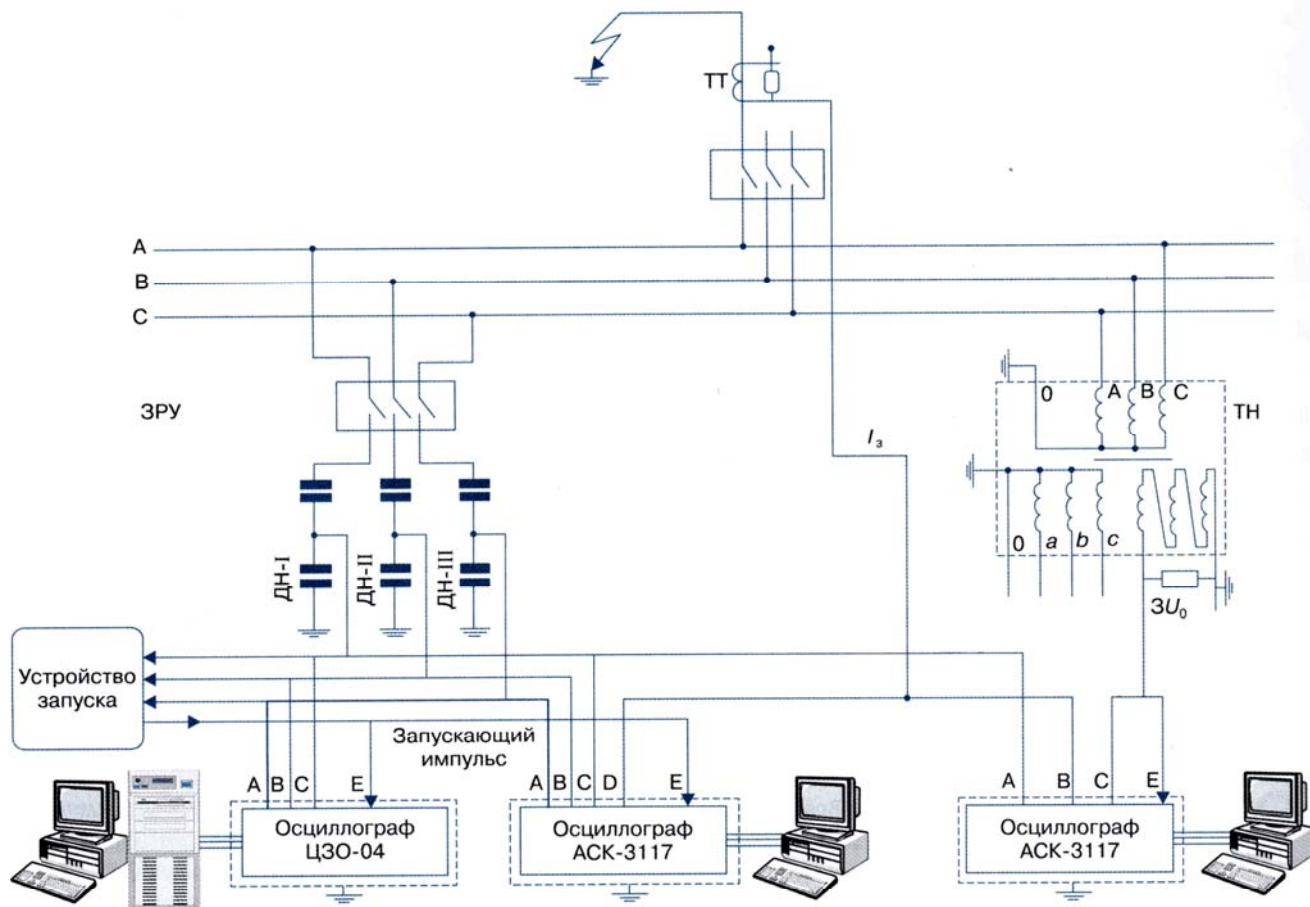


Рис. 2. Схема проведения эксперимента по замеру тока замыкания на землю в сети 6 кВ ОГПЗ

установку делителей в проходе с задней стороны ячейки со снятой крышкой. К фазам ДН подсоединялись металлическими проводниками. К выводам низковольтного плеча ДН через измерительный кабель подключали цифровой запоминающий осциллограф для регист-

рации фазных напряжений. Для осциллографирования использовали цифровые запоминающие осциллографы типа АСК-3117 и ЦЗО-04, сопряженные с ПЭВМ. Дублирование измеряемых сигналов тока и напряжения было использовано для обеспечения надежной ре-

гистрации процессов при ограниченном числе опытов.

В табл. 1 приведены расчетные (согласно конфигурации сети на момент проведения эксперимента) и замеренные силы емкостного тока ОЗЗ в сетях 6 кВ ГПП-1 и ГПП-2.

Сравнение данных в табл. 1 показывает, что полученные в результате эксперимента значения тока ОЗЗ на основной гармонике близки к расчетным значениям емкостного тока ОЗЗ. Замеренные значения компенсированного емкостного тока в сети 6 кВ ГПП-1 с включенными ДГК коррелируются с расчетными значениями при следующих уточнениях:

1. Трансформаторы для выведения нейтрали в действительности не обладают указанным дросселирующим эффектом. В таком случае замеренный I_3 и расчетный I_p токи ОЗЗ на секциях с катушками равны:

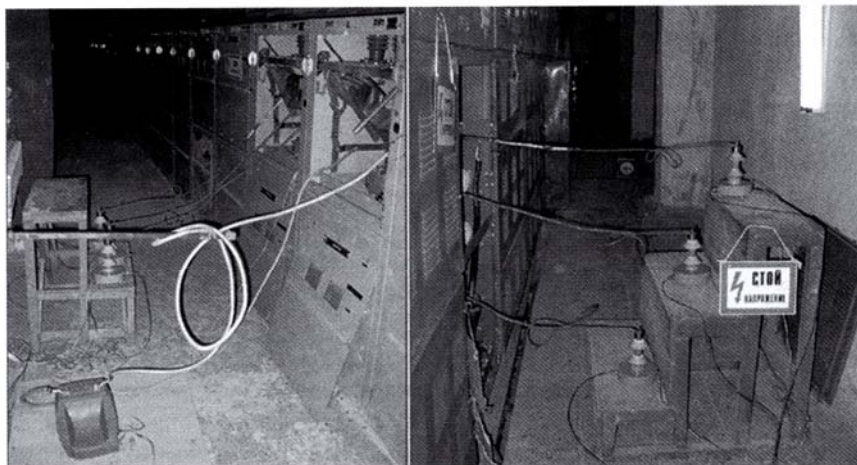


Рис. 3. Место проведения эксперимента ЗРУ 6 кВ

$$I_{p1T-63} = 10,9 \text{ А}, I_{з1T-63} = 14,3 \text{ А}, I_{p2T-63} = 7,4 \text{ А}, I_{з2T-63} = 6,5 \text{ А}.$$

2. Дросселирующий эффект имеет место, но отпайки ДГК фактически находятся в других положениях, отличных от тех, которые определены и выставлены в результате предыдущих замеров, иначе говоря, указатели положения «анцапф» катушек не соответствуют реальным индуктивным токам ДГК при ОЗЗ по данным оперативного персонала. Тогда справедливо полагать следующие положения отпаек катушек:

- ДГК-1 – 5-я отпайка, $I_{0,5 \text{ ДГК-1}} = 41,7 \text{ А}$;
- ДГК-2 – 3-я отпайка, $I_{0,3 \text{ ДГК-2}} = 32,6 \text{ А}$.

В результате можно рассчитать предполагаемые емкостные токи при такой компенсации в сети 6 кВ 1Т-63 и 2Т-63 МВ-А (табл. 2).

Дополнительно в результате спектрального анализа были выделены гармоники, наиболее выраженные в токе замыкания сети 6 кВ (табл. 3).

Результаты экспериментальных замеров токов ОЗЗ указывают на то, что определение действительного значения тока ОЗЗ необходимо производить на основании осциллограмм с выделением гармоники 50 Гц и вычисления ее значения, с обязательным анализом доли высших гармоник, так как, например, амплитуда гармоники 29 в сети ГПП-1, 2Т-63 в опыте с ДГК-2 составила 60 % амплитуды основной гармоники (50 Гц). Уровень перенапряжений при металлическом ОЗЗ практически не зависит от величины емкостного тока замыкания на землю и определяется величинами фазных напряжений в момент замыкания. Наибольший уровень зарегистрированных перенапряжений при металлическом ОЗЗ в сети 6 кВ рассматриваемых секций составил $2,38U_{\phi}$. Анализ осциллограмм переходных процессов показал, что в момент замыкания в сигналах напряжения наблюдаются значительные свободные составляющие, что свидетельствует о слабом демпфировании сопротивлениями активных утечек колебательных процессов. Данный характер переходных процессов подтверждает возможность возникновения высоких

Таблица 1

Значения 1-й гармоники (50 Гц) тока ОЗЗ в сети 6 кВ ОГПЗ

Значение тока, А	ГПП-1				ГПП-2	
	1Т-63		2Т-63		1Т-80	2Т-80
	Без ДГК-1	С ДГК-1	Без ДГК-2	С ДГК-2		
Расчетное действующее на момент замера	26,3	5,0	24,6	2,3	18,8	22,0
Замеренное	25,8	14,3	27,3	6,5	17,8	20,5

Таблица 2

Значения 1-й гармоники (50 Гц) тока ОЗЗ в сети 6 кВ при «корректировке» тока компенсации ДГК-1 и ДГК-2

Значение тока, А	ГПП-1				ГПП-2	
	1Т-63		2Т-63		1Т-80	2Т-80
	Без ДГК-1	С ДГК-1	Без ДГК-2	С ДГК-2		
Расчетное действующее на момент замера	26,3	15,4	24,6	8,0	18,8	22,0
Замеренное	25,8	14,3	27,3	6,5	17,8	20,5
Δ	0,5	1,1	2,7	1,5	1,0	1,5

Таблица 3

Наиболее выраженные в токе ОЗЗ гармоники для сети 6 кВ

	ГПП-1				ГПП-2	
	1Т-63		2Т-63		1Т-80	2Т-80
	Без ДГК-1	С ДГК-1	Без ДГК-2	С ДГК-2		
	5, 7, 19, 23, 29, 37	2, 5, 7, 17, 19, 23, 29, 37	5, 7, 23, 25, 27-29, 31, 35, 37	3, 5, 7, 11, 13, 17, 19-37		5, 7, 11

значений перенапряжений при однофазных дуговых замыканиях на землю.

Основные экспериментальные выводы, полученные в работе, можно сформулировать следующим образом:

1. Значение емкостного тока ОЗЗ в сети 6 кВ ОГПЗ может существенно изменяться при изменении состава работающего технологического оборудования. Для учета изменений можно использовать таблицы расчетных емкостных токов по секциям ГПП-1 и ГПП-2, полученные на основе удельных токов ОЗЗ. Экспериментальные и расчетные значения емкостного тока ОЗЗ для различных секций ГПП-1 и ГПП-2 достаточно близки.

2. Анализ полученных данных показывает, что указатели положения «анцапф» ДГК-1 и ДГК-2, установленных в сети 1Т-63 и 2Т-63 ГПП-1, могут быть неисправны.

3. Результаты экспериментальных замеров токов ОЗЗ показывают, что в токе ОЗЗ присутствует значительная доля

высших гармоник, которые могут составлять до 25–70 % сигнала 50 Гц. Наиболее заметно выражены высшие гармоники в сети 6 кВ 2Т-63 МВ-А ГПП-1, причем их абсолютная величина практически не зависит от режима заземления нейтрали сети.

4. Настройку тока компенсации ДГК можно провести с достаточной степенью точности по величинам емкостных токов, полученных на основе опытных осциллограмм с учетом реального состояния сети. При наличии в токе значительной доли высших гармоник определение действительного тока ОЗЗ, который должен быть компенсирован током ДГК, необходимо производить на основании осциллограмм с выделением гармоники 50 Гц и вычисления ее значения.

Проведенные исследования говорят о необходимости кроме теоретических производить экспериментальные исследования параметров сети по нулевой последовательности.